

東北日本前弧域の地震波速度不均質とその地震テクトニクスの意義

著者	山本 揚二郎
号	51
学位授与番号	2417
URL	http://hdl.handle.net/10097/39485

氏名・（本籍）	やまもと ようじろう 山 本 揚二郎
学位の種類	博 士（理 学）
学位記番号	理博第2417号
学位授与年月日	平成20年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科，専攻	東北大学大学院理学研究科（博士課程）地球物理学専攻
学位論文題目	東北日本前弧域の地震波速度不均質とその地震テクトニクスの意義
論文審査委員	（主査） 教授 藤 本 博 己 教授 長谷川 昭, 趙 大 鵬 教授 佐 藤 春 夫, 吉 田 武 義 准教授 日 野 亮 太

論文目次

謝辞

概要

目次

第1章 序論

- 1-1 東北日本前弧域
- 1-2 宮城県沖・福島県沖に関する地震学的研究
- 1-3 海陸境界域の深部構造
- 1-4 本研究の目的

第2章 観測・データ

- 2-1 海底地震観測
- 2-2 陸上地震観測網
- 2-3 データ処理
 - 2-3-1 地震波形データの処理
 - 2-3-2 OBS 観測点における堆積層による走時遅れの補正
- 2-4 データ

第3章 解析

- 3-1 解析方法

- 3-1-1 初期震源決定
- 3-1-2 地震波速度構造トモグラフィ
- 3-1-3 モデル設定
- 3-1-4 拘束条件
- 3-2 分解能テスト

第4章 結果

- 4-1 結果
- 4-2 結果の安定性
- 4-3 結果のまとめ

第5章 議論

- 5-1 プレート境界面の形状推定
- 5-2 海洋性地殻の速度構造
- 5-3 海陸境界域の速度構造
- 5-4 宮城県沖の地震波速度構造とアスペリティ
- 5-5 福島県沖の低速度異常
- 5-6 東北日本前弧域のアスペリティ

第6章 結論

参考文献

論文内容要旨

東北日本前弧域においては、太平洋プレートの沈み込みに伴って、プレート境界面を断層面として発生するプレート間地震の活動が活発である。近年、プレート間地震の発生機構が示す特徴の多くが、プレート境界面上に分布するアスペリティの繰り返し破壊として説明可能であることがわかってきた。アスペリティは通常は海陸のプレートが固着することにより剪断歪を蓄積するが、地震時に高速のすべりを生じることでこれを解放する領域として定義され、アスペリティの地理的な位置が時間的に変化しない証拠が多数提示されている。こうしたアスペリティの位置の不変性は、プレート境界における固着・すべり状態を規定する摩擦特性が、その場所固有の構造によって規定されていることを示唆する。しかし、プレート間地震の発生域の大部分が海域下であるため、観測データの蓄積に乏しく、プレート境界近傍における構造に関する理解は限定的である。プレート境界上に分布するアスペリティに対応する構造上の特徴を明らかにするためには、プレート境界地震発生域を含む領域の3次元的な構造を解明することが必須である。

本研究は、宮城県沖および福島県沖に展開された海底地震観測データと陸上地震観測網によるデータとを統合処理し、東北地方の中南部の前弧域における3次元地震波速度構造を推定することにより、プレート間地震の発生機構に関わる地震波速度構造上の特徴の抽出を図ろうとするものである。宮城県沖と福島

県沖の領域ではプレート境界地震の発生様式に相違があることが知られており、これらの領域間での構造の違いを見いだすことが、本研究の第一の目的である。さらに、海陸両方のデータを用いていることにより、これまで構造推定の空白域であった前弧域の深部構造を解明することが可能となる。こうして得られる新たな構造イメージから、島弧下におけるマントル内の流れに関する新たな知見を得ることが、本研究の第2の目的である。

対象とした領域においては、2004年および2005年に、高密度かつ多点の海底観測点による地震観測が行われ、これらのデータを用いることにより、海域下における地震波速度構造を高空間分解能で推定することが可能となった。また、データ解析に double-difference tomography 法を用いることにより、従来高精度で推定することが困難であった海域下深部の S 波速度の推定精度向上に成功した。

解析の結果、東北日本弧中南部の火山フロントより海溝側の広い領域にわたって P 波速度構造と S 波速度構造とともに高精度で推定することができた。地震波速度構造とともに推定された震源分布の特徴から、海域下で発生している地震のほとんどが、プレート境界のごく近傍に集中して発生していることが明瞭に示された。こうした地震の震源分布によりプレート境界の位置を定義すると、それよりも浅い側は上盤側プレートのマントルウェッジに対応する高速度域、深い側は沈み込む海洋性地殻に対応する低速度域となり、速度境界であることが示された。このことは、プレート境界域の地震波速度構造を高空間分解能で推定できたことを示す。震源分布から推定されるプレート境界面は、M7 級のプレート間地震が繰り返し発生する宮城県沖の領域において局地的に下に凸な形状を示しており、プレート境界面の幾何学的形状とプレート間カップリングの強さの間に対応関係がある可能性を示唆する。

低 V_p , V_s で明瞭にイメージされる海洋性地殻は深さ 20~70km の範囲において、高 V_p/V_s を保ったまま沈み込んでいることがわかった。この結果は、北西太平洋における人工地震探査の結果と、東北日本の陸域下でのトモグラフィ解析による結果をつなぐものであり、これらを総合すると、海洋性地殻は沈み込む以前から高い V_p/V_s によって特徴付けられ、その特徴を保持しつつ地下深部にまで沈み込んでいることが明らかとなった。

本研究で推定したプレート境界の位置を基準として、上盤側のマントルウェッジおよび下盤側の海洋性地殻の内部それぞれについて、宮城県沖地震のアスペリティの分布に対応するような不均質構造についての検討を行い、次のような特徴を見出すことができた。マントルウェッジ内においては、アスペリティの周辺では高 V_p および高 V_s であり、周囲に比べ V_p/V_s は小さい。このことは、アスペリティが分布する領域においては、マントルウェッジの水和がほとんど起こっていないことを示すものであり、ここで M7 級の地震が繰り返し発生することの原因の一つであると考えられる。宮城県沖と同様に、マントルウェッジ下に存在する 1968 年十勝沖地震の北側アスペリティ域においても高 V_p 異常が見いだされており、マントル下のアスペリティに共通する特徴を抽出できたと考えられる。ただし、従来 1936 年の宮城県沖地震のアスペリティがあるとされていた領域は、上記の対応関係が成り立たず、直上のマントルウェッジは高 V_p/V_s 域としてイメージされた。2005 年宮城県沖地震の余効すべり域あるいは余震分布の特徴などを検討すると、この領域ではむしろ非地震性すべり域である可能性があり、ここで推定された高 V_p/V_s は、安定すべり特性をもつ蛇紋岩化されたマントルの存在を示すものである可能性がある。

海洋性地殻内においては、2005 年宮城県沖地震の震源周辺において、その周囲に比べて V_p/V_s が有意に小さい。この領域は、1978 年宮城県沖地震の破壊過程においても破壊開始点に隣接するアスペリティとなっており、2005 年の地震と同様の破壊過程が繰り返されたと考えられている。破壊の開始点については、1936 年宮城県沖地震もこれらの地震に近いことが知られる。本研究によって見出された海洋性地殻内に見られる局所的な低 V_p/V_s 域が存在することにより、この領域は周囲に比べて応力集中を受けやすくなるた

めに、大地震の破壊の開始点になりやすい場所となっている可能性がある。

大地震の発生がほとんどみられない福島県沖においては、マントルウェッジ内に南東―北西方向に走向を持つ幅50km程度の低速度異常域が存在することが明らかとなった。さらに、これにほぼ対応する位置で、沈み込む海洋性地殻内にも同程度の大きさ・方向をもつ低速度異常域の存在が認められる。存在位置および走向から、こうした低地震波速度異常域は、北西太平洋に存在する Kashima Fracture Zone の延長上に存在することがわかった。海洋性地殻内部の低速度異常は周囲に比べ破碎を受けているために生じたものと解釈される。その直上のマントルウェッジが低速度であるのは、破碎を受けた海洋性地殻が沈み込む際に水をその上側のマントルへ供給するためかもしれない。実際、マントル内の低速度域は周囲に比べ高 V_p/V_s である傾向を示し、水和による蛇紋岩化を受けている可能性が示唆される。この結果は、プレート間地震の発生様式の支配要因であるマントルウェッジ内の不均質構造の形成に、沈み込む海洋性地殻がもつ不均質構造が関与することを示す重要な観測事実である。

こうした蛇紋岩化されたマントルウェッジの存在の有無が、福島県沖と宮城県沖との間でのプレート間地震の発生様式の違いの要因の一つと考えられる。福島県沖においては蛇紋岩化域が帯状に存在するために、プレート間固着領域の面積が小さくなり、宮城県沖に比べて大きなプレート間地震が発生しにくくなっているであろう。

マントルウェッジ内の地震波速度の分布をより広域的にみると、マントルウェッジは、東北地方の太平洋岸の海岸線付近を境にして、陸側の低速度異常域と海側の高速度異常域に分けられる。内陸側の低速度域は、マントル内の上昇流により暖められた高温域に対応すると考えられるが、それが海岸線付近より東側へ連続しないのは、マントルウェッジ内のコーナーフローが海域下のマントル内へは及ばないことを示すものと解釈される。すなわち、マントルウェッジ内の高速度と低速度の境界の位置は、マントル内の流れが下向きに方向を転じる位置に対応する。この速度境界の位置は低角逆断層型地震の発生範囲の西側限界の位置とほぼ一致するが、これは海陸のプレート間カップリングの変化が、マントル内のコーナーフローの分布に影響を及ぼしている結果であると考えられる。

本研究では、多点・高密度の海底地震計群列で得られたデータを用いるとともに、double-difference データを用いることにより、海域下の V_p および V_s の3次元構造を高精度で推定した。さらに、こうした高精度の構造イメージを得ることにより、宮城県沖地震のアスペリティに対応する地震学的構造の特徴を抽出することに成功した。この結果は、高精度で地震波速度構造を推定することにより、プレート間大地震のアスペリティの位置を推定できる可能性を示すものである。また、海陸の広域にわたる観測データを併合して解析に使用することにより、従来イメージングが難しかった前弧域の深部構造を解明することに成功した。マントルウェッジ内を全領域にわたって高精度で地震波速度構造を求めることは、コーナーフローの流れ分布をはじめとした、島弧マントル内のダイナミクスを理解する上で重要な情報をもたらすものである。今後このような海陸データを統合した速度構造解析を行うことにより、プレート境界におけるアスペリティと非アスペリティのマッピングが可能になるだけでなく、海洋プレート沈み込みに伴うダイナミクスの解明に貢献できるものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、東北日本前弧域の詳細な地震波速度構造を推定し、プレート間地震の発生をはじめとする海陸プレート間の相互作用と前弧域における地下構造の空間変化との間の関連について明らかにしたものである。

東北地方太平洋側では、活発なプレート間地震活動が見られるが、その発生様式は南北方向で大きく異なることが知られ、これは海陸のプレート間固着の状態の変化を反映するものと理解されているが、固着状態の変化の原因はよくわかっていなかった。また、この地域の地殻構造は海陸間で急変することが知られるが、その原因もまた解明されていない。本論文ではこうした課題の解決のために、東北日本前弧域の地殻から上部マントルに至る地震波速度構造を詳細に推定し、プレート間固着強度の空間変化などの既知の観測事実との対比を行った。前弧域における地下構造の推定には、地震観測の空白域であった海溝陸側斜面域の地震観測データが不可欠で、海底地震観測により新たに得られたデータを解析に用いた。また、解析に走時二重差を用いたトモグラフィ手法を適用することにより、高空間分解能の地下構造モデルを推定することに成功した。

得られた結果は、海陸プレート境界の上盤側にあるマントルウェッジの不均質構造とプレート間固着との間に明瞭な相関があることを示す。プレート間大地震が繰り返し発生する宮城県沖では地震波速度は高速であるが、その南・北側それぞれには低速度領域があって、こうした低速度物質の存在が固着強度を低下させる要因として働いている。福島県沖では、そうした低速度異常域が存在するために、固着可能な領域の幅が限られ、大地震の繰り返し発生が妨げられる。一方、マントルウェッジ内では、プレート間地震発生域の西縁に対応するような顕著な東西方向の構造変化があることが判明し、これがマントル内の流れの場によって形成されている可能性を指摘した。

以上のように、山本揚二郎提出の論文は、これまで詳細が明らかとなっていなかった東北日本前弧域の地下構造を高精度で推定するとともに、海陸プレート間の相互作用にみられる空間変化の原因を理解する上で新知見をもたらした。これは、同人が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、山本揚二郎提出の論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。